

# **Alumiinioksidi ja molokiitti kipsin seosaineina lasin uunivalumuoteissa**

Anna Tolonen  
Materiaalitutkimus -kurssin raportti  
Muotoilun koulutusohjelma  
Muotoilun laitos  
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu  
Aalto yliopisto  
27.03.2017

# Sisällysluettelo

## Tiivistelmä

### 1 Muottiseokset

- 1.1 Molokiitti
- 1.2 Alumiinioksidi

### 2 koesarjojen valmistus ja lasin uunivaluohjelma

- 2.1 Muottien rakenne
- 2.2 lasin uunivaluohjelman laatiminen

### 3 Alumiinioksidi -koesarja

- 3.1 Kuvasarja alumiinioksidi-koesarjan muoteista ennen purkua
- 3.2 päätelmät ja kuvasarja muottien 5, 2, 7, 9 ja 1 lasin lasiuunivaluista

### 4 Molokiitti -koesarja

- 4.1 kuvasarja molokiitti -koesarjan muoteista ennen purkua.
- 4.2 Päätelmät ja kuvasarja muottien 3, 6, 4, 8 ja 10 lasiuunivaluista

### 5 Loppupäätelmät

### 6 lähdeluettelo

## Tiivistelmä

Tutkin lasin uunivalumuottien seoksia testaten molokiitin ja alumiinioksidin ominaisuuksia uunivalumuotin kipsiseoksessa. Aikaisempien uunivalukokeilujeni aikana ongelmaksi oli osottautunut, että osa muoteista halkeaa polton aikana. Aikaisempien epäonnistumisien takia halusin materiaalitutkimuksessani tutkia kumpi on ominaisuuksiltaan parempi seosaine lasin uunivalumuotteihin: alumiinioksidi vai molokiitti. Ja mikä olisi ihanteellisin kipsin ja molokiitin, tai alumiinioksidin, seossuhde muotissa.

Tähtäimessä oli saada jonkinlaista suuntaa lasivalujen varmaan onnistumiseen ja vähentää ikäviä yllätyksiä monesti yli 50 tunnin sulatusohjelman jälkeen, kun uunin luukku vihdoinkin avataan. Lasin uunivalutekniikassa uunin lämpötila kohoaa lämpötilaan, jossa lasi alkaa pehmetä ja muuttua juoksevaksi. Ohjelmassa jota olen käyttänyt, lämpötila nousee 880°C-asteeseen, jossa se hautuu n. 2 tunnin ajan, jonka aikana sulava lasi valuu muotteihin. Mitä hitaammin lämpö kohoaa, sitä vähemmän se rasittaa uunivalumuottia. Toisin sanoen: mitä enemmän muotti kestää lämpövaihtelun aiheuttamaa rasitusta, sitä nopeampi uunivaluohjelma voidaan ohjelmoida ja sitä nopeampi ja lyhyempi on koko prosessin pituus muotin valmistuksesta valmiin lasikappaleen kylmätyöstöön.

10 kappaleen koesarjani koostuu viidestä kipsi-molokiittiseosmuotista ja viidestä kipsi-alumiinioksidiseosmuotista sekä muoteilla valmistetuista lasivalukappaleista.

Tarkastelin lasin uunivaluprosessia muottien näkökulmasta muottien valmistamisesta, kuivattamisesta, vahamallineen höyryttämisestä ulos muotista aina uunivaluun asti.

## 1 Muottiseokset

Valmistin kymmenen kappaleen koesarjan lasin uunivalumuotteja: viisi uunivalumuottia käyttäen kipsiseoksessa kipsiä, sekä alumiinioksidia ja viisi uunivalumuottia käyttäen kipsiä sekä molokiittia. Lasin uunivalumuotin täytyy kestää suuria lämpötiloja ja niiden vaihteluita uunivaluohjelma noustessa jopa 880°C. Tästä syystä kipsi ei yksinään sovellu lasin uunivalumuotin seosaineeksi. Kipsi kovettuu kun siihen lisätään vettä, seoksen kovettuessa vesi sitoutuu kipsin kiderakenteisiin kidevedeksi, joka vapautuu uunivaluohjelman aikana lämmön noustessa 300-400°C jonka jälkeen kipsin kiderakenne muuttuu, eikä kipsi ole enää vesiliukoista. Jos lämpötila nousee polttouunissa liian nopeasti muotti lämpenee liian rivakasti tai epätasaisesti, jolloin kideveden haihtuminen voi aiheuttaa muotin halkeamisen. Alumiinioksidi ja molokiitti tekevät muotista kestävämmän lämpövaihteluille, sekä toimivat erotusaineena lasille ja muotille: molokiitti sekä alumiinioksidi eivät jää kiinni valmiin lasivalun pintaan.

### 1.1 Molokiitti

Molokiitti on poltettua kaolinia, eli kiinan savea. Kaolinia voidaan myös käyttää lasi nuunivalumuotissa kipsin seosaineena, mutta koska kaolin on savea se muuttuu keramiikaksi lasiuunivalun aikana, mikä tekee muotin poistamisesta vaikeampaa. Kaolin sopii siis paremmin isoihin muotteihin joissa lopullinen lasivalu ei ole hento tai yksityiskohtainen.

Molokiitti on siis keraamista hienorakenteista murskaa, joka kestää lämpövaihteluita, mutta ei sido itseensä vettä, eikä jää kiinni valmiin lasivalun pintaan.

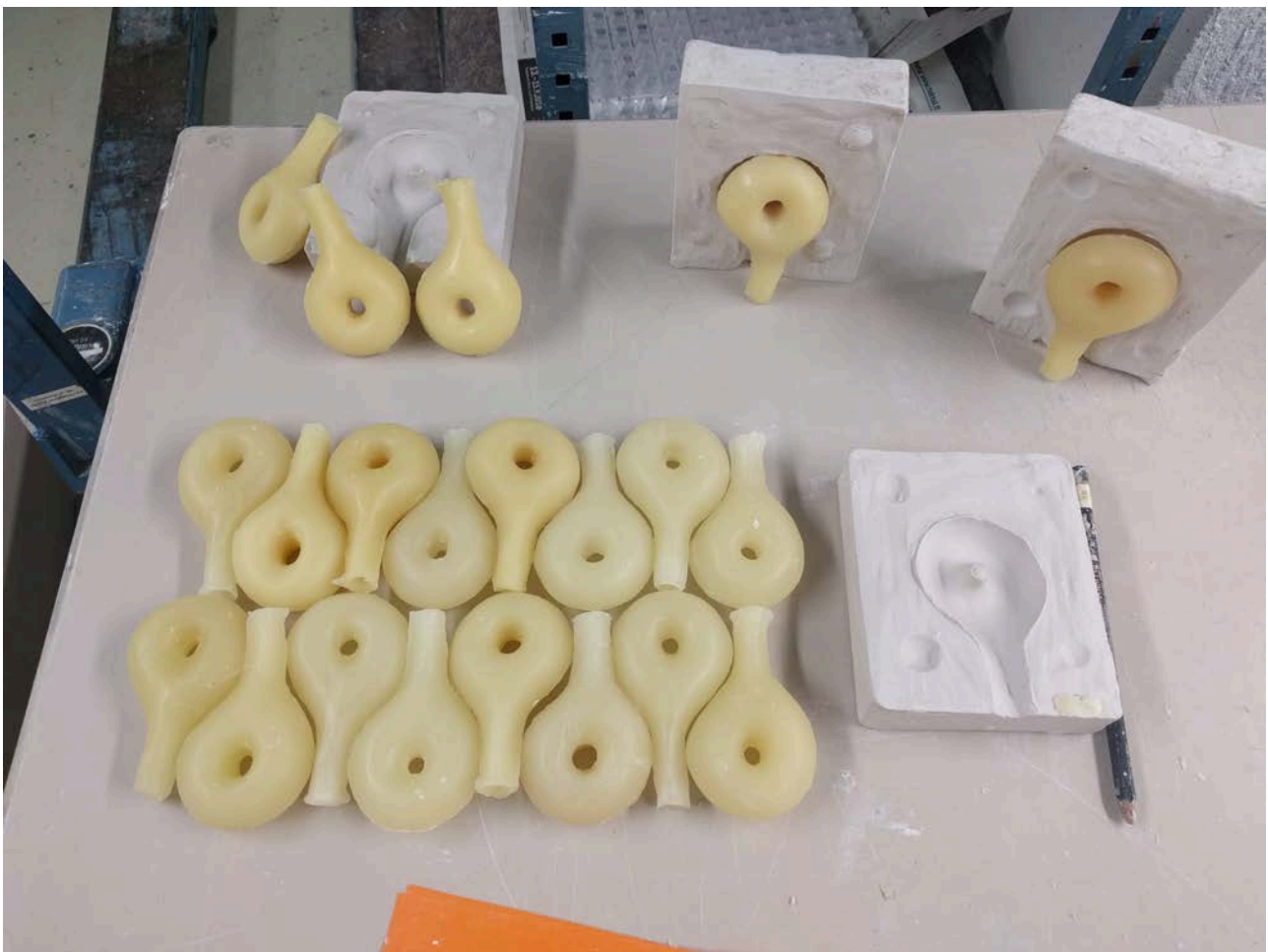
### 1.2 Alumiinioksidi

Alumiinioksidi on koostumukseltaan ruokasoodaa muistuttavaa alumiini oksidia, joka on veteen liukenematonta. Alumiinioksidin sulamispiste on erittäin korkea (2072°C). Koostumuksensa takia alumiinioksidi kopioi yksityiskohtaisesti muotin, joka mahdollistaa erittäin yksityiskohtaisen lasivalumallin valmistamisen.

## 2 koesarjan valmistus ja lasin uunivaluohjelma

Lasin uunivalujen valmistusprosessissa on monta vaihetta. Jos tarkoituksena on tehdä monta kappaletta tismalleen samanlaista lasivalua on prosessi aloitettava halutunlaisen mallin valmistuksella ja siitä tehtävällä kipsimuotilla, jolla saadaan valmistettua vahamalleja. Vahamallien päälle valetaan lopulliset uunivalumuotit. Muottiin valamisen jälkeen vaha höyrytetään 100°C höyryllä pois uunivalumuoteista jättäen muottiin tyhjän tilan, johon sulanut lasi valuu muodostaen lasivalun.

Muottien täytyy olla täysin kuivuneita ennen uunivaluohjelman aloittamista keramiikan polttouunissa. Kosteus aiheuttaa lisästressiä muottiin ja synnyttää muotteihin halkeamia ohjelman aikana tai jopa hajottaa koko muotin, jolloin sula lasi valuu muotista ulos uunin pohjalle. Annoin koesarjan muottien kuivua seitsemän päivää muottien valmistuksesta.



**Kuva1.** Valmiita vahamalleja ja niiden kipsimuotit. Kipsimuottien pitää olla selvästi kosteat, jos muotti on kuiva, jää vaha kiinni muottiin. Vahamallin muoto määrittyi aiemman projektini tarkoituksen mukaan, pyöreä muoto, kapea kaula ja reikä keskellä.



**Kuva 2.** Vahamallin rinkulamuodon vuoksi se vaatii ilmareijät, jotta muottiin ei muodostu ilmalukkoa joka estäisi sulan lasimassan valumisen ohuesta kaulasta muottiin. Vahalla päällystetyt grillitikut jättävät valmiiseen univalumuottiin ilmareijät.



**Kuva 3.** Savi jättää univalumuottiin lasille säilön johon lasi annostellaan. Tästä säiliöstä lasi sulatessaan valuu muottiin.

Kun muoteista on höyryttämällä sulatettu vahamallit ulos ja muotit ovat kuivuneet kokonaan, on ne valmiita laitettavaksi uniin. Jokaiseen muottiin asetetaan tarvittava määrä lasia. Mutta on hyvä laittaa lasia liikaa, kuin liian vähän. Painovoiman lait pätevät myös lasin uunivaluja tehdessä. Vaikka muotissa onkin tarvittavat ilmareijät on suurempi lasi massa painavampaa ja läpäisee varmemmin mahdollisen ilmalukon.

Muottiin voi annostella pientä lasimurskaa tai käyttää kiinteitä lasipalasia. Mitä pienenpää lasimurska on sitä enemmän pieniä ilmakuplia se vie mukanaan sulaessaan muottiin. Halusin valmiiseen lasivaluun mahdollisimman vähän ilmakuplia. Muotteja varten tehtiin kuumatyöstössä kiinteät lasipallot.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> katso kuva4



**Kuva 4.** Lasimuotit keramiikkapolttouunissa valmiina uunivaluohjelman aloittamiseen

## 2.1 Muottien rakenne

Valitsin muotin muodon, koska neliskulmainen muotti on helppo toistaa saman kokoisena, ja muotin seosaineiden massan laskeminen on helppoa. Näin jokainen uunivalumuotti on vertailukelpoinen. Jokaiseen muottiin on jokaiselle sivulle laitettu lasikuituharsoa<sup>2</sup>, joka pitää muotin kasassa lämpötilan noustessa yli 400°C asteeseen.<sup>3</sup> Muotin seinämät on pidettävä mahdollisemman ohuina, jolloin ne joustavat lämpövaihtelusta aiheutuvan rasituksen myötä halkeamatta.

Muottiiseoksen määrä lasketaan laskemaalla muotin muodon mukaan sen tilavuus:  
leveys kertaa korkeus kertaa syvyys

$$8\text{cm} \times 7\text{cm} \times 11\text{cm} = 616\text{cm}^3$$

Kipsiseos	Vettä
616g	400ml

Kuten jo aikaisemmin raportissa mainitsin, koesarja sisältää viisi alumiinioksidi-kipsiseosmuottia, sekä viisi molokiitti-kipsiseosmuottia. Kummastakin sarjasta löytyy vertailupari samalla seosprosentilla. Koska on jo tiedossa, että 100% kipsiä oleva muotti ei kestä lasin uunivaluohjelman lämpövaihteluita. Alumiinioksidi ja molokiitti eivät kumpikaan sido itseensä vettä, jolloin muotti ei alkujaan jähmettyisi, koska kipsi on muottiseoksessa se, joka sitoo muotin kasaan.

---

<sup>2</sup> Kuva 2.

<sup>3</sup> katso 1 muottiseokset



## 2.2 Lasin uunivaluohjelman laatiminen

Lasin uunivaluohjelmassa on 4 vaihetta:

1	muottien kuivaus	0°-500°C	24h
2	lasin sulatus	500°-880°C	13h
3	haudutus	880°C	2h
4	jäähdytys	880°-30°C	22h

Muottien kuivausvaiheessa varmistetaan, että muotit ovat varmasti kuivuneet. Mitä hitaammin lämpö nousee, sitä vähemmän lämpövaihtelu rasittaa muotteja. 220°C lämmössä muotit höyryävät ja muoteista palaa mahdolliset vahajäämät ja roskat pois, jonka jälkeen uunin luukun voi sulkea.

Lasin sulatuksessa lämpö kohoaa uunissa 880° asteeseen. Taas kerran pätee sama yleissääntö: mitä hitaammin lämpö nousee sitä vähemmän stressiä muotille.

Haudutuksen aikana sula ja nestemäinen lasi valuu muotiin. Haudutusaika riippuu halutun lasivalun koosta. Jos haudutusaika jää lyhyeksi, voi muotti jäädä vajaaksi, kun lasi jähmettyy lämmön lasiessa.

Laatimassani ohjelmassa jäähdytyksellä ei sinänsä ollut merkitystä, koska koesarjan lasivalut olivat niin pieniä. Tästä syystä pystyin antamaan uunin lämmön laskea omalla tahdillaan pidentämättä jäähdytysaikaa. Jos lasivalut olisivat suurempia, olisi hitaalla jäähdytyksellä merkitystä. Liian nopea jäähdytys voi aiheuttaa jännitteitä valmiiseen lasivaluun.

Kaikki muotit poltettiin samassa ohjelmassa, jotta ne olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia materiaalitutkimusta varten.

### 3 Alumiinioksidi -koesarja

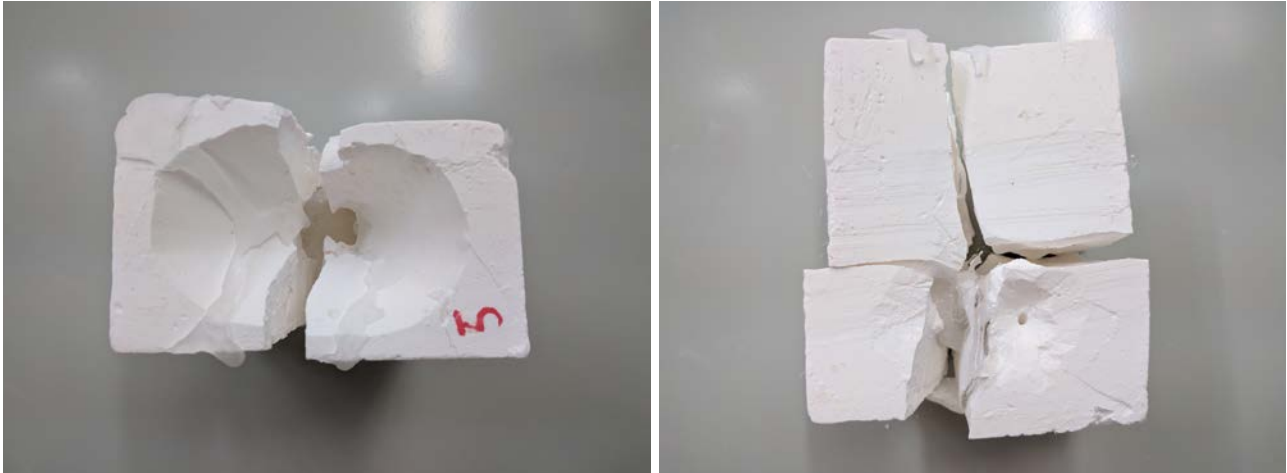
Yleisiä huomioita koesarjasta:

Jokaisessa muotissa esiintyi halkeamia tai vähintään pienehköjä muotin sisäisiä purkautumia. Mitä vähemmän alumiinioksidia seoksessa on sitä kovempi muotti on ja vaikeampi purkaa. Muotti, jossa oli 70%kipsiä + 30%alumiinioksidia oli haljennut neljään osaan ja muotti oli vajaa(kuva5.). Mitä suurempi osa muotin seosaineesta on alumiinioksidia, sitä paremmin se toistaa muotin yksityiskohdat. Tämä johtuu alumiinioksidin hienosta rakenteesta, ja muottia tehdessä kipsi, alumiiniseos on nestemäisempää, koska alumiinioksidi ei sido itseensä vettä.

100% = kipsiseos 616g

Muotin numero	Alumiinioksidi	Kipsi
5	30%	70%
2	40%	60%
7	50%	50%
1	60%	40%
9	70%	30%

### 3.1 Kuvasarja muoteista 5, 2, 7, 9 ja 1 ennen purkua



Kuva5. Muotti 5 ennen purkamista



Kuva7. Muotti 2 ennen purkamista



**Kuva8.** Muotti 7 ennen purkamista



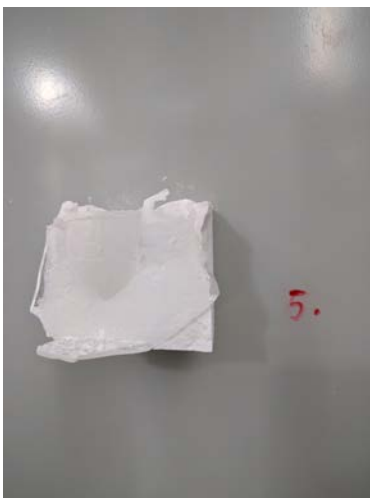
**Kuva9.** Muotti 9 ennen purkamista



**Kuva10.** Muotti 1 ennen purkamista.

### 3.2 päätelmät ja kuvasarja muottien 5, 2, 7, 9 ja 1 lasin uunivaluista

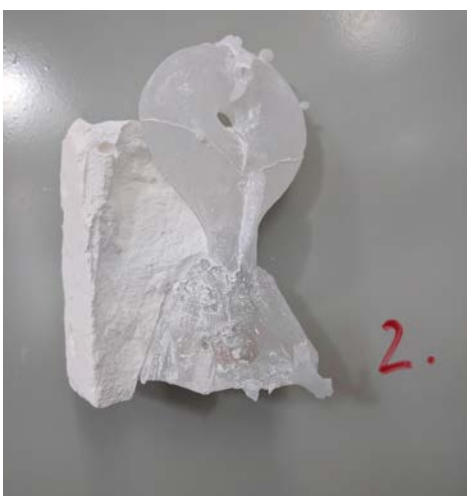
Koska muotti 5 halkesi uunissa ohjelman aikana neljään osaan, jäi muotti vajaaksi, kun osa lasista valui uunilevylle (kuvat 5, 11 ja 12). Muottien 2,9,7 ja 1 esiintyy selvästi sisäisiä purkautumia, joissa muotti on alkanut halkeamaan, mutta pysynyt sen verran yhtenä kappaleena, että lasimassa on pysynyt muotissa. Selvästi muotti on hauraampi ilmareikien kohdalta. Sula lasimassa puskee haudutuksen aikana ilmareikiä pitkin ulos muotista, kun muotti on jo muuten täyttynyt. Tämä aiheuttaa stressiä muotille. Alumiinioksidin kohdalla voi koekappaleista todeta, että mitä enemmän muottiseoksessa on kipsiä, sitä parempi tulos.



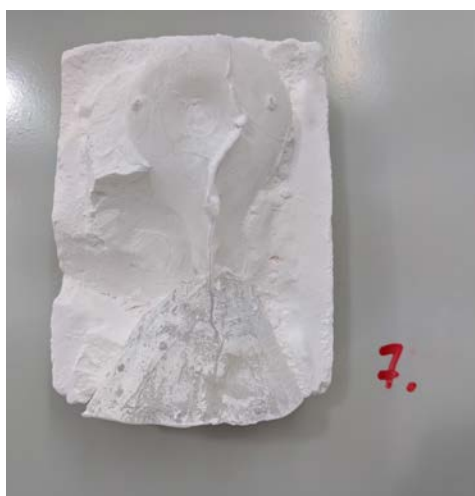
Kuva11



Kuva12



Kuva13



Kuva14



Kuva14



Kuva15

#### 4 Molokiitti -koesarja

Yleisiä huomioita koesarjasta:

Mitä suurempi osa muottiseoksesta on molokiittia (suurempi kuin 50% seoksesta), sitä helpompi muotti on purkaa, eikä suuria lasipurkautumia tai halkeamia muotissa esiinny.

Kun muottiseoksesta suurempi osa on kipsiä muotti on rakenteeltaan kovempi ja sitä vähemmän muotti on kestänyt uunivaluohjelman lämpötilamuutoksia: tuloksena halkeamia sekä purkautumia eli lasimassan aiheuttamia halkeamia muotin sisällä.

Parhaat tulokset sain kun kipsiä oli 30% - max50% seoksesta. 50% + 50% muotin purkaminen oli jo haastavampaa verrattuna 30%+70% ja 40%+60%.

100% = kipsiseos 616g

Muotn numero	Molokiitti	Kipsi
3	30%	70%
6	40%	60%
4	50%	50%
8	60%	40%
10	70%	30%

#### 4.1 kuvasarja molokiitti -koesarjan muoteista ennen purkua



**Kuva16** muotti 3



**Kuva17** muotti 3



**Kuva17** muotti 6



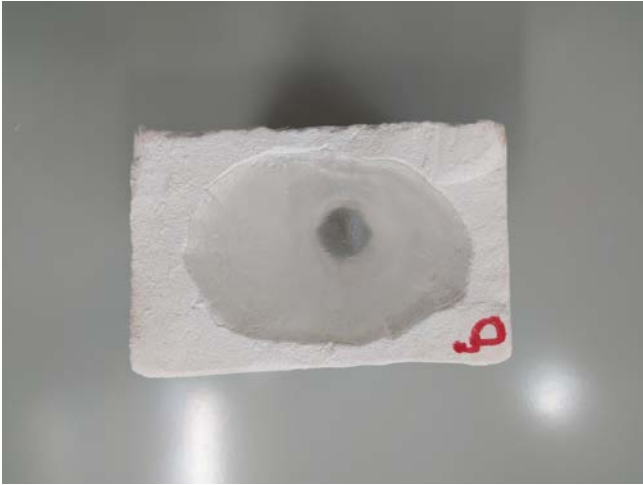
**Kuva18** muotti 6



**Kuva19** muotti 4



**Kuva20** muotti 4



**Kuva21** muotti 8



**Kuva22** muotti 8



**Kuva23** muotti 10



**Kuva24** muotti 10



#### 4.2 Päätelmät ja kuvasarja muottien 3, 6, 4, 8 ja 10 lasiuunivaluista

Molokiitti toimi onnistuneesti jokaisessa seossuhteessa. Molokiitti ei toista muotissa olevaa pintaa täysin yksityiskohtaisesti ja selvästi parhaat tulokset on tulleet muottiseoksesta, jossa molokiittia on 70%. Tässä seossuhteessa huono puoli on siinä, että muotin kuivumisessa menee pisin aika ja muotin valmistusvaiheessa kipsiseoksen jähmettyminen vie yli 30min, mikä on paljon pidempi aika, kuin muissa seossuhteissa. Mitä enemmän kipsiä seoksessa on sitä kovempi muotin rakenne on ja sitä vaikeampi muotti on poistaa vaurioittamatta lasivalua muotin sisällä.



Kuva25 muotti 3



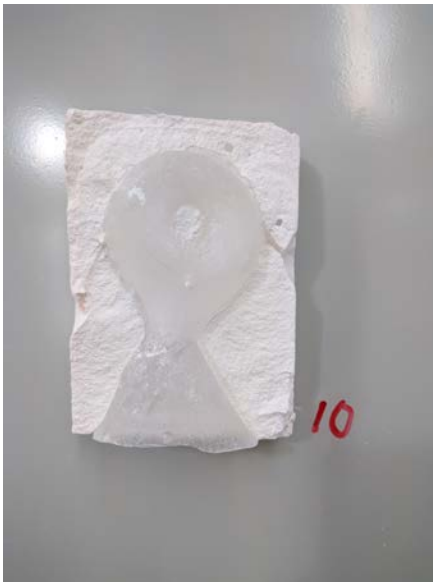
Kuva26 muotti 6



Kuva27 muotti 4



Kuva28 muotti 8



**Kuva29** muotti 10

## 5 Loppupäätelmät

Molokiitti reagoi paremmin lämpötilamuutoksiin ja näin ollen antaa paremman tuloksen, kuin alumiinioksidi. Molokiittimuotti on myös pehmeämpää ja hauraampaa polton jälkeen, mikä helpottaa lasikappaleen poistoa muotista.

Molokiitin huonoja puolia on, että muotin valmistuksessa 30%kipsiä+70% molokiittia oleva seos jähmettyy ja kuivuu hitaammin, kuin saman suhteinen seos alumiinioksidia ja kipsiä. Muottien kuivuminen kestää kauemmin, jolloin lasivalu prosessi alusta loppuun on pidempi. Tämän materiaalitutkimuksen pohjalta voisi jatkaa tutkimusta etsien parasta seossuhdetta, jossa muotti kestäisi lämpövaihtelun aiheuttaman stressin, niin hyvin, että uunivaluohjelmaa voisi lyhentää huomattavasti, eikä muotien tarvitsisi kuivua niin kauan, kuin muottien joissa alumiinioksidia ja molokiittia on enemmän, kuin 50% muotin kipsiseoksesta.

## 6. Lähdeluettelo

Lauri Levato Lasinsulatuskipsimuotit

<http://lauri.lsd.dk/lasi/tarv/kipsi-muot1.php>

Amit Arora: Text Book Of Inorganic Chemistry, s. 380. Discovery Publishing House, 2005

[http://www.ima-na.org/?page=what\\_is\\_kaolin](http://www.ima-na.org/?page=what_is_kaolin)